

(12) NACH DEM VERTRAG ÜBER DIE INTERNATIONALE ZUSAMMENARBEIT AUF DEM GEBIET DES
PATENTWESENS (PCT) VERÖFFENTLICHTE INTERNATIONALE ANMELDUNG

(19) Weltorganisation für geistiges Eigentum
Internationales Büro



(43) Internationales Veröffentlichungsdatum
28. Dezember 2000 (28.12.2000)

PCT

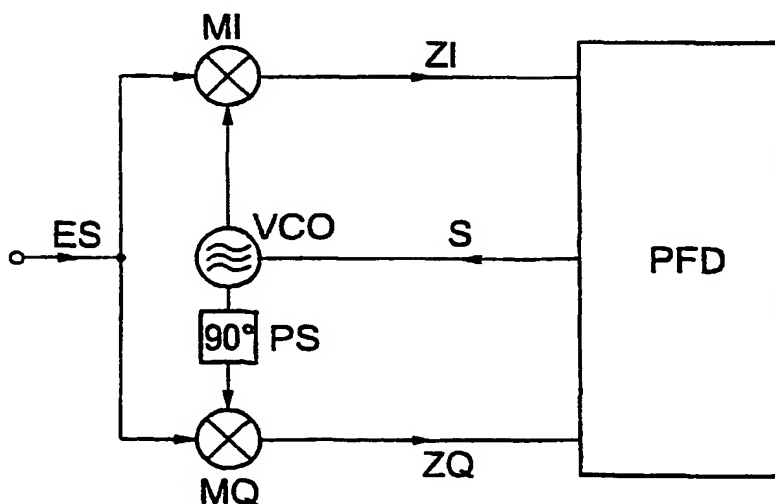
(10) Internationale Veröffentlichungsnummer
WO 00/79754 A1

- (51) Internationale Patentklassifikation⁷: **H04L 27/38** (72) Erfinder; und
(75) Erfinder/Anmelder (nur für US): **HERBIG, Gerhard**
(21) Internationales Aktenzeichen: **PCT/IB00/00809** [DE/DE]; Reutenhofstrasse 42/2, D-71570 Oppenweiler (DE).
(22) Internationales Anmeldedatum: **8. Juni 2000 (08.06.2000)** (74) Anwalt: **CAMP, Ronald**; Marconi Intellectual Property, Waterhouse Lane, Chelmsford, Essex CM1 2QX (GB).
(25) Einreichungssprache: **Deutsch** (81) Bestimmungsstaaten (national): AE, AG, AL, AM, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BR, BY, CA, CH, CN, CR, CU, CZ, DE, DK, DM, DZ, EE, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, HR, HU, ID, IL, IN, IS, JP, KE, KG, KP, KR, KZ, LC, LK, LR, LS, LT, LU, LV, MA, MD, MG, MK, MN, MW, MX, MZ, NO, NZ, PL, PT, RO, RU, SD, SE, SG, SI, SK, SL, TJ, TM, TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ, VN, YU, ZA, ZW.
(26) Veröffentlichungssprache: **Deutsch**
(30) Angaben zur Priorität: **199 28 206.4** **19. Juni 1999 (19.06.1999)** **DE**
(71) Anmelder (für alle Bestimmungsstaaten mit Ausnahme von US): **MARCONI COMMUNICATIONS GMBH** [DE/DE]; Serberstrasse 33, D-71520 Backnang (DE).
(84) Bestimmungsstaaten (regional): ARIPO-Patent (GH, GM, KE, LS, MW, MZ, SD, SL, SZ, TZ, UG, ZW), eurasisches Patent (AM, AZ, BY, KG, KZ, MD, RU, TJ, TM),

[Fortsetzung auf der nächsten Seite]

(54) Title: **PHASE ERROR DETECTOR FOR A QUADRATURE AMPLITUDE MODULATED (QAM) RECEIVER**

(54) Bezeichnung: **PHASENFEHLERDETEKTOR FÜR EINEN QAM-EMPFÄNGER**



(57) Abstract: The invention relates to a phase error detector which generates a phase correction signal in such a manner that the phase characteristic curve thereof does not have any undesired zero positions and comprises a finite steepness in the angular area around the engaging point. The inventive phase error detector (PFD) calculates the phase correction signal (S) according to the detected decision domain in accordance with a number of predetermined calculating methods. The phase error detector (PFD) attains such an allocation between the decision domains of the complex QAM single state plane and the individual calculating methods such that the static phase characteristic curve thereof does not have any additional zero positions apart from the engaging point.

[Fortsetzung auf der nächsten Seite]

WO 00/79754 A1



europäisches Patent (AT, BE, CH, CY, DE, DK, ES, FI, FR, GB, GR, IE, IT, LU, MC, NL, PT, SE), OAPI-Patent (BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GW, ML, MR, NE, SN, TD, TG).

— Vor Ablauf der für Änderungen der Ansprüche geltenden Frist; Veröffentlichung wird wiederholt, falls Änderungen eintreffen.

Veröffentlicht:

— Mit internationalem Recherchenbericht.

Zur Erklärung der Zweibuchstaben-Codes, und der anderen Abkürzungen wird auf die Erklärungen ("Guidance Notes on Codes and Abbreviations") am Anfang jeder regulären Ausgabe der PCT-Gazette verwiesen.

(57) Zusammenfassung: Es wird ein Phasenfehlerdetektor angegeben, der ein Phasenkorrektursignal so erzeugt, daß seine Phasenkennlinie keine unerwünschten Nullstellen aufweist und im Winkelbereich um den Einrastpunkt eine endliche Steilheit besitzt. Dieser Phasenfehlerdetektor (PFD) berechnet das Phasenkorrektursignal (S) je nach detektiertem Entscheidergebiet nach einem von mehreren vorgegebenen Berechnungsmethoden. Dabei trifft der Phasenfehlerdetektor (PFD) eine solche Zuordnung zwischen den Entscheidergebieten der komplexen QAM-Signalzustandsebene und den einzelnen Berechnungsmethoden, daß seine statische Phasenkennlinie außer beim Einrastpunkt keine weitere Nullstelle aufweist.

5

10 Phasenfehlerdetektor für einen QAM-Empfänger

Stand der Technik

15 Die vorliegende Erfindung betrifft einen
Phasenfehlerdetektor für einen QAM-Empfänger, in dem alle
vorkommenden QAM-Signalzustände abgespeichert sind und dabei
jeder der in einer komplexen Signalzustandsebene liegenden
QAM-Signalzustände von einem Entscheidergebiet umgeben ist
20 und der Phasenfehlerdetektor durch Schwellwertentscheidungen
detektiert, in welches Entscheidergebiet welchen QAM-
Signalzustandes ein komplexes in seine Inphasen- und seine
Quadraturphasen-Signalkomponente zerlegter
Empfangssignalzustand fällt, und er in Abhängigkeit vom
25 detektierten Entscheidergebiet ein Phasenkorrektursignal für
die Trägerphase des Empfangssignals bildet. Ein solcher
Phasenfehlerdetektor ist aus der DE 36 19 744 A1 bekannt.

Standardmäßig verwendete Phasenfehlerdetektoren für QAM
30 (quadraturamplitudenmodulierte) Signale, von denen auch in
der DE 36 19 744 A1 ausgegangen wird, besitzen neben dem
Soll-Einrastpunkt bei einem Phasenfehler von $\varphi = 0$ weitere
unerwünschte Nullstellen in ihrer Phasenkennlinie, welche zu
verlängerten Synchronisationszeiten wie auch zur
35 Synchronisation bei ungeeigneten Phasen führen können. In

der Figur 4 sind beispielhaft Phasenkennlinien von solchen Standard-Phasenfehlerdetektoren für 16-QAM, 32-QAM, 64-QAM und 120-QAM dargestellt, welche außer beim Einrastpunkt $\varphi = 0$ mehrere unerwünschte Nullstellen aufweisen. In der DE 36 19 744 A1 ist ein Algorithmus für einen Phasenfehlerdetektor beschrieben, dessen Phasenkennlinie nicht mehr die störenden Nullstellen aufweist. Das in der DE 36 19 744 A1 beschriebene Verfahren besitzt jedoch Eigenschaften, welche sich in praktischen Systemen als nachteilig erwiesen haben. Die Steigung der statischen Phasenkennlinie ist ein wichtiger Dimensionierungsparameter für die Phasenregelschleife der Trägerrückgewinnung in einem QAM-Empfänger. Bei dem bekannten Verfahren ist die Steigung der statischen Phasenkennlinie im Einrastpunkt stark vom Rauschabstand des Empfangssignals abhängig; sie ist klein bei schlechtem Rauschabstand und strebt gegen unendlich bei gutem Rauschabstand. Diese starke Variation der Steigung der Phasenkennlinie macht eine gute Dimensionierung nur mit hohen Kompromissen möglich. Außerdem besitzen auch alle anderen standardmäßig verwendeten Phasenfehlerdetektoren, welche auf Signum-Operationen des Entscheiderfehlers beruhen, diese Eigenschaft.

Im übrigen machen die von bekannten Phasenfehlerdetektoren gebildete statische Phasenkennlinien lediglich eine Aussage bezüglich des mittleren Verhaltens eines Phasenfehlerdetektors. Beim Einrasten einer Phasenregelschleife, also beim Übergang von der Einrastphase zur Nachführphase, spielt aber nicht so sehr das Verhalten im Mittel eine Rolle, sondern vielmehr ein gleichmäßig guter Beitrag aller QAM-Signalzustände.

Der Erfindung liegt nun die Aufgabe zugrunde, einen Phasenfehlerdetektor der eingangs genannten Art anzugeben,

der ein Phasenkorrektursignal so erzeugt, daß seine Phasenkennlinie keine unerwünschten Nullstellen aufweist.

5 Vorteile der Erfindung

Die genannte Aufgabe wird mit den Merkmalen des Anspruchs 1 dadurch gelöst, daß dem Phasenfehlerdetektor für die Berechnung des Phasenkorrektursignals mehrere Algorithmen zur Verfügung stehen. Welcher von den zur Verfügung stehenden Algorithmen für die Berechnung des Phasenkorrektursignals ausgewählt wird, hängt davon ab, in welches Entscheidergebiet der komplexen QAM-Signalzustandsebene ein in seine Inphasen- und seine Quadraturphasen-Signalkomponente zerlegter Empfangssignalzustand fällt. Im Anspruch 1 sind fünf verschiedene Algorithmen für die Berechnung des Phasenkorrektursignals angegeben. Dadurch, daß nicht wie beim Stand der Technik für alle Entscheidergebiete das Phasenkorrektursignal nach ein und demselben Algorithmus berechnet wird, sondern unterschiedliche Algorithmen zur Verfügung stehen, läßt sich eine Phasenkennlinie realisieren, die einerseits keine unerwünschten Nullstellen mehr aufweist und andererseits einen gleichmäßigen Beitrag aller QAM-Signalzustände garantiert. Welcher Algorithmus für welches Entscheidergebiet der geeignetste ist, läßt sich empirisch ermitteln.

Vorteilhafte Weiterbildungen der Erfindung gemäß Anspruch 1 gehen aus den Unteransprüchen hervor.

Zeichnung

Anhand eines in der Zeichnung dargestellten Ausführungsbeispiels wird nachfolgend die Erfindung näher erläutert. Es zeigen:

Figur 1 ein Blockschaltbild eines QAM-Empfängers,
Figur 2 eine komplexe QAM-Signalzustandsebene,
Figur 3 mehrere Phasenkennlinien von erfindungsgemäß
ausgeführten Phasendetektoren und
Figur 4 mehrere Phasenkennlinien von Standard-
Phasenfehlerdetektoren.

Beschreibung eines Ausführungsbeispiels

In der Figur 1 ist ein prinzipielles Blockschaltbild eines QAM-Empfängers dargestellt. Der QAM-Empfänger besteht aus einem Inphasen-Signalzweig und einem Quadraturphasen-Signalzweig. Im Inphasen-Signalzweig befindet sich ein Mischer MI und im Quadraturphasen-Signalzweig ein Mischer MQ. Diese beiden Mischer MI und MQ setzen das Empfangssignal ES, das auf die beiden Signalzweige aufgeteilt wird, ins Basisband um. Die Referenzfrequenz für die beiden Mischer MI und MQ wird von einem spannungsgesteuerten Oszillator VCO geliefert. Einem der beiden Mischer wird das vom spannungsgesteuerten Oszillator VCO erzeugte Referenzfrequenzsignal einem 90°-Phasenschieber PS zugeführt, so daß die Referenzfrequenzen für die beiden Mischer MI und MQ eine gegenseitige Phasenablage von 90° aufweisen. Das Ausgangssignal des Mixers MI, das die Inphasen-Signalkomponente ZI eines Empfangssignalzustandes darstellt, und das Ausgangssignal des Mixers MQ, das die Quadraturphasen-Signalkomponente ZQ eines Empfangssignalzustandes darstellt, werden einem Phasenfehlerdetektor PFD zugeführt. Dieser Phasenfehlerdetektor PFD, erzeugt, wie nachfolgend noch detailliert beschrieben, ein Phasenkorrektursignal S, das

als Steuersignal für den spannungsgesteuerten Oszillator VCO dient.

Anhand der nachfolgenden Gleichungen soll verdeutlicht werden, wie der Phasenfehlerdetektor aus den einzelnen Empfangssignalzuständen mit der Inphasen-Signalkomponente ZI und der Quadraturphasen-Signalkomponente ZQ das Phasenkorrektursignal S, das die Ablage der Trägerphase des Empfangssignals gegenüber der Phase des vom spannungsgesteuerten Oszillator VCO erzeugten Referenzfrequenzsignals darstellt, ermittelt. Der Phasenfehlerdetektor PFD berechnet nach einer weit verbreiteten Methode das Phasenkorrektursignal S gemäß der Gleichung (1).

$$S = FQ \cdot ZI - FI \cdot ZQ \quad (1)$$

Dabei sind FI und FQ Entscheiderfehler, die, wie die Gleichung (2) ausdrückt, die Ablagen der Inphasen-Signalkomponente ZI und der Quadraturphasen-Signalkomponente ZQ des Empfangssignalzustandes gegenüber der Inphasen-Komponente AI und der Quadraturphasen-Komponente AQ desjenigen QAM-Signalzustandes sind, für den der Phasenfehlerdetektor PFD entschieden hat, daß dieser der von einem Sender abgegebene Sendesignalzustand ist.

$$\begin{aligned} FI &= ZI - AI \\ FQ &= ZQ - AQ \end{aligned} \quad (2)$$

Bei einer Übertragung des Sendesignalzustands ohne Verzerrungen ist der Empfangssignalzustand $Z = ZI + jZQ$ lediglich um einen Winkel φ gegenüber dem Sendesignalzustand $A = AI + jAQ$ verdreht. Dies drückt die Gleichung (3) aus.

$$Z = Ae^{j\varphi} = (AI + jAQ) (\cos \varphi + j\sin \varphi) \quad (3)$$

Häufig wird zur Berechnung des Phasenkorrektursignals nicht die in Gleichung (1) angegebene Funktion sondern die Signumsversion gemäß Gleichung (4) verwendet, welche keine aufwendigen Multiplikationen benötigt.

$$S = FQ \operatorname{sign}(ZI) - FI \operatorname{sign}(ZQ) \quad (4)$$

Die statische Phasenkennlinie ist der Mittelwert über alle möglichen QAM-Sendesignalzustände, wie in Gleichung (5) angegeben.

$$S(\varphi) = E \langle FQ \operatorname{sign}(ZI) - FI \operatorname{sign}(ZQ) \rangle \quad (5)$$

Wegen Gleichung (2) gilt für die Quadraturkomponenten des Entscheiderfehlers:

$$\begin{aligned} FI &= AI \cos \varphi - AQ \sin \varphi - AI \\ FQ &= AQ \cos \varphi - AI \sin \varphi - AQ \end{aligned} \quad (6)$$

Mit (6) gilt für das Phasenkorrektursignal S gemäß (1).

$$\begin{aligned} S &= (AQ \cos \varphi + AI \sin \varphi - AQ) (AI \cos \varphi - AQ \sin \varphi) - \\ & (AI \cos \varphi - AQ \sin \varphi - AI) (AQ \cos \varphi + AI \sin \varphi) \end{aligned} \quad (7)$$

Mit diesem Phasenkorrektursignal erhält man mit $E \langle A^2 \rangle = 1$ eine statische Phasenkennlinie gemäß Gleichung (8).

$$\begin{aligned} S(\varphi) &\approx -\cos \varphi \sin \varphi + \sin \varphi \cos \varphi + \sin \varphi \\ & - \cos \varphi \sin \varphi + \sin \varphi \cos \varphi + \sin \varphi = 2 \sin \varphi \end{aligned} \quad (8)$$

Diese Berechnung der statischen Phasenkennlinie unterstellt allerdings die Gültigkeit der Gleichung (2), also eine fehlerfreie Zuordnung der Empfangssignalzustände zu

Sendesignalzuständen. Für QAM-Signalkonstellationen bedeutet dies einen eingeschränkten und vom Modulationsverfahren abhängigen Gültigkeitsbereich der Phasenkennlinie gemäß Gleichung (8), beispielsweise $[-45^\circ, +45^\circ]$ für 4-QAM, $[-16,5^\circ, +16,5^\circ]$ für 16-QAM usw.

Phasenkennlinien entsprechend der Signumversion nach Gleichung (4) besitzen im Gültigkeitsbereich keinen sinusförmigen sondern einen linearen Verlauf. In der Figur 4 sind Phasenkennlinien für 16-QAM, 32-QAM, 64-QAM und 128-QAM Empfänger dargestellt, welche das Phasenkorrektursignal standardgemäß nach Gleichung (5) berechnen. Bei allen vier Modulationsverfahren sind unerwünschte Nullstellen, d.h. falsche Einrastpunkte vorhanden; am deutlichsten sind sie bei 32-QAM erkennbar. Bei diesem Modulationsverfahren werden auch die längsten Verweildauern in unerwünschten Phasenlagen festgestellt.

Um die unerwünschten Nulldurchgänge in der Phasenkennlinie zu vermeiden, stehen dem Phasenfehlerdetektor fünf verschiedene Berechnungsmethoden für das Phasenkorrektursignal zur Verfügung:

$$\begin{aligned} S1 &= FQ f(ZI) - FI f(ZQ) \\ S2 &= \pm 2 FQ f(ZI) \\ S3 &= \pm 2 FI f(ZQ) \\ S4 &= \pm 2 ZI ZQ \\ S5 &= 0 \end{aligned} \quad (9)$$

In den vier Berechnungsmethoden S1 bis S4 kann für die Funktionen $f(ZI)$ und $f(ZQ)$ gelten:

$$f(ZI) = ZI \text{ und } f(ZQ) = ZQ$$

oder

$$f(ZI) = \text{sign}(ZI) \text{ und } f(ZQ) = \text{sign}(ZQ)$$

In welchem Fall welche der fünf Berechnungsmethoden S1 bis S5 für das Phasenkorrektursignal vom Phasenfehlerdetektor verwendet wird, hängt davon ab, in welches Entscheidergebiet
5 welchen QAM-Signalzustandes ein komplexer in seine Inphasen-Signalkomponente ZI und seine Quadraturphasen-Signalkomponente ZQ zerlegter Empfangssignalzustand fällt.

Bei der Zuordnung der Berechnungsmethoden S1 bis S5 zu den
10 einzelnen Entscheidergebieten werden die Anteile aller Sendesymbole an der statischen Phasenkennlinie einzeln betrachtet. So gibt es z. B. bei einer 16-QAM Modulation genau 16 verschiedene Sendesymbole $A(i)$, $i = 1 \dots 16$, und damit 16 Anteile $S(i)$, welche im Mittel dann die statische
15 Phasenkennlinie S bilden:

$$S = \frac{1}{16} \sum_{i=1}^{16} S(i) \quad (10)$$

Um für die Phasenkennlinie S einen günstigen Verlauf zu
20 erhalten, werden in einem ersten Schritt diejenigen Sendesymbole $A(i)$ identifiziert, welche für positive Winkel $\varphi > 0$ einen negativen Bereich $S(i) < 0$ besitzen oder für negative Winkel einen positiven Bereich. Hierbei wird zunächst für alle Entscheidergebiete die Methode S1, also
25 die Standardmethode, unterstellt. Diese Bereiche führen dann in Gleichung (10) zu den unerwünschten Nullstellen im Gesamtverhalten der Phasenkorrekturkennlinie S . In einem zweiten Schritt werden dann diejenigen Entscheidergebiete ermittelt, die bei dem entsprechenden Sendesymbol $A(i)$ die
30 unerwünschte Korrekturinformation liefern. In einem dritten Schritt kann schließlich getestet werden, ob eine der Methoden S2 oder S3 eine gewünschte Verbesserung bringt. Nach Bearbeitung aller Sendesymbole und aller Entscheidergebiete wird sich in der Regel eine Verbesserung des Verlaufs der

Phasenkennlinie eingestellt haben. Es kann aber sein, daß die Verbesserung aber noch unzureichend ist. Für die verbleibenden Bereiche $S(i) < 0$ für $\varphi > 0$ respektive $S(i) > 0$ für $\varphi < 0$ werden dann die Methoden S4 und S5 eingesetzt, wobei
5 aber nur so viele Entscheidergebiete ausgewählt werden, bis die unerwünschten Nullstellen in der Phasenkennlinie zuverlässig verschwunden sind. Die Methoden S4 und S5 werden deshalb so zurückhaltend eingesetzt, weil sie eine - wenn auch geringfügige - Deformation der statischen
10 Phasenkennlinie im Einrastpunkt bewirken. Das hier beschriebene Verfahren wird zweckmäßigerweise rechnergestützt durchgeführt, wobei aber auch einige Entscheidungen empirisch zu fällen sind.

15 In der Figur 2 ist beispielsweise die komplexe Signalzustandsebene eines 16-QAM-Systems dargestellt. Auf der Abszisse des Koordinatensystems der komplexen QAM-Signalzustandsebene laufen die Indizes I der Inphasen-Signalkomponente von 0 bis 4 und auf der Ordinate des
20 Koordinatensystems laufen die Indizes Q der Quadraturphasen-Signalkomponenten ebenfalls von 0 bis 4. Die sechzehn quadratischen Punkte in der Signalzustandsebene entsprechen den 16-QAM-Sendesignalzuständen, und die drei dünnen konzentrischen Kreise, auf denen die quadratischen Punkte
25 liegen, sind die Spuren der Empfangssignalzustände bei fehlender Trägerphasensynchronisation. Die Quadrate, welche die Signalzustände (quadratische Punkte) umgeben, werden als Entscheidergebiete bezeichnet. Der Phasenfehlerdetektor PFD ermittelt nämlich durch Schwellwertentscheidung, in welches
30 Entscheidergebiet welchen QAM-Signalzustandes ein komplexes in seine Inphasen-Signalkomponente ZI und in seine Quadratur-Signalkomponente ZQ zerlegter Empfangssignalzustand fällt. Die Richtung und die Stärke der vom Phasenfehlerdetektor berechneten
35 Phasenkorrekturinformation wird durch die Farbe (schwarz,

- 10 -

weiß) und die Größe der in Figur 2 eingezeichneten Kreise dargestellt. Schwarze Kreise bewirken eine Phasenkorrektur in positiver Richtung (entgegen dem Uhrzeigersinn) und weiße Kreise in negativer Richtung (im Uhrzeigersinn). Große Kreise entsprechen einer starken Korrektur, kleine Kreise einer schwachen Korrektur. In den acht mit 0 gekennzeichneten Feldern wird überhaupt keine Korrekturinformation erzeugt (entspricht der Methode S5).

Die dick umrandeten Entscheidergebiete in Figur 2 erfahren gegenüber der bekannten standardisierten Phasenfehlerdetektion eine Modifikation. Für sie werden nämlich unterschiedliche Berechnungsmethoden gemäß Gleichung (9) für das Phasenkorrektursignal angewendet. Die Indizes I und Q, welche die Lage der Entscheidergebiete beschreiben, sind in der nachfolgenden Tabelle im Abschnitt 16-QAM wiedergegeben. Außerdem ist zu jedem Entscheidergebiet, also zu jeder Kombination I/Q, die aus den fünf Rechenmethoden S1 bis S5 ausgewählte Rechenmethode aufgeführt. Dort wird beispielsweise für die Entscheidergebiete 0/3 und 3/0 der Wert 0 gefordert, das entspricht der Methode S5. In den Gebieten 0/4, 1/4, 4/0 und 4/1 ist die Korrekturinformation konstant; das entspricht der Berechnungsmethode S4. In den beiden Entscheidergebieten 1/3 und 3/1 ist die Phasenkorrekturinformation nur von einem Entscheiderfehler FI oder FQ abhängig, was in der Figur 2 durch eine achsenparallele Orientierung der Punktgröße zum Ausdruck kommt; hier kommen die Berechnungsmethoden S2 und S3 zum Tragen.

Warum die vorangehend beschriebene Auswahl aus verschiedenen Berechnungsmethoden S1 bis S5 für das Phasenkorrektursignal eine Verbesserung der statischen Phasenkennlinie unerwünschter Nullstellen bringt, kann folgendermaßen erklärt werden:

- 11 -

Die vier äußeren Entscheidergebiete 0/4, 1/4, 4/0 und 4/1 sind eindeutig in der Phasenkorrekturinformation. Es macht daher Sinn, für diese Fälle den maximalen durch den Aussteuerbereich festgelegten Wert zu wählen. Allerdings dürfen nicht alle Entscheidergebiete, deren Korrekturinformation eindeutig ist, auf diese Weise behandelt werden, denn der Verlauf der statischen Phasenkennlinie soll in der Nähe des Ursprungs so wenig wie möglich verfälscht werden (endliche Steigung der Phasenkennlinie im Einrastpunkt $\varphi = 0$). Aus diesem Grund bleiben beispielsweise die Gebiete 0/1 und 1/0 unverändert.

Die Bereiche 0/3 und 3/0 liefern für bestimmte Phasen falsche Korrekturinformationen, da auf dem mittleren Kreis eine hohe Unsicherheit bezüglich des tatsächlich gesendeten Signalzustandes besteht. Die Ausblendung dieser Entscheidergebiete ist zwingend, Dementsprechend sind diese Bereiche in der Figur 2, für die die Berechnungsmethode S5 in Frage kommt, mit einer Null gekennzeichnet.

Die beiden Gebiete 1/3 und 3/1 werden entweder in der Einrastphase von einem rotierenden Eckpunkt oder in der Nachführphase von einem benachbarten verrauschten Empfangssignalzustand getroffen. Im ersten Fall liefern diese Entscheidergebiete eine korrekte Phasenkorrekturinformation und im zweiten Fall eine unbedeutende. Damit diese Entscheidergebiete also im ersten Fall eine möglichst hohe und im zweiten Fall eine möglichst geringe Phasenkorrekturinformation liefern, wird jeweils nur eine Quadraturkomponente FI oder FQ des Entscheiderfehlers gemäß den Berechnungsmethoden S2 oder S3 ausgewertet.

Der nachfolgenden Tabelle können ebenfalls für 32-QAM, 64-QAM und 128-QAM Systeme die Zuordnungen der

Entscheidergebiete zu den einzelnen Berechnungsmethoden S1 bis S5 entnommen werden.

16-QAM

Index I	Index Q	Methode
3	0	S5
0	3	S5
3	1	S3
1	3	S2
4	0	S4
0	4	S4
4	1	S4
1	4	S4
Alle übrigen	Alle übrigen	S1

32-QAM

Index I	Index Q	Methode
3	0	S5
0	3	S5
4	0	S3
0	4	S2
4	2	S3
2	4	S2
5	1	S3
1	5	S2
5	2	S4
2	5	S4
Alle übrigen	Alle übrigen	S1

- 13 -

64-QAM

Index I	Index Q	Methode
3	0	S5
0	3	S5
4	0	S3
0	4	S2
4	2	S3
2	4	S2
5	1	S3
1	5	S2
5	2	S4
2	5	S4
7	3	S3
3	7	S2
8	2, 3, 4, 5	S4
2, 3, 4, 5	8	S4
9	0, 1, 2, 3, 4	S4
0, 1, 2, 3, 4	9	S4
Alle übrigen	Alle übrigen	S1

5

128-QAM

Index I	Index Q	Methode
3	0	S5
0	3	S5
4	0	S3
0	4	S2
4	2	S3
2	4	S2
5	1	S3
1	5	S2
5	2	S4
2	5	S4
7	3	S3
3	7	S2
8	5	S5
5	8	S5
9	3	S3
3	9	S2
9	7	S5
7	9	S5
9	8	S5

8	9	S5
10	2	S5
2	10	S5
10	7	S5
7	10	S5
10	8	S5
8	10	S5
11	5	S3
5	11	S2
11	6	S4
6	11	S4
12	3	S4
3	12	S4
12	4	S4
4	12	S4
Alle übrigen	Alle übrigen	1

Mit den dargestellten Zuordnungen der verschiedenen
 Berechnungsmethoden S1 bis S5 für das Phasenkorrektursignal
 ergeben sich für das 16-QAM, das 32-QAM, das 64-QAM und das
 128-QAM-System die in der Figur 3 dargestellten
 Phasenkennlinien, die einen im Einrastpunkt $\varphi = 0$
 unveränderten Verlauf haben und keine unerwünschten
 Nullstellen mehr aufweisen.

5

Ansprüche

10

1. Phasenfehlerdetektor für einen QAM-Empfänger, in dem alle vorkommenden QAM-Signalzustände abgespeichert sind und dabei jeder der in einer komplexen Signalzustandsebene liegenden QAM-Signalzustände von einem Entscheidergebiet umgeben ist und der Phasenfehlerdetektor durch Schwellwertentscheidungen detektiert, in welches Entscheidergebiet welchen QAM-Signalzustandes ein komplexes in seine Inphasen (ZI) und

15

seine Quadraturphasen-Signalkomponente (ZQ) zerlegter Empfangssignalzustand fällt, und er in Abhängigkeit vom detektierten Entscheidergebiet ein Phasenkorrektursignal (S) für die Trägerphase des Empfangssignals (ES) bildet, dadurch gekennzeichnet,

20

- daß der Phasenfehlerdetektor (PFD) das Phasenkorrektursignal (S) je nach detektiertem Entscheidergebiet nach einem der folgenden Methoden berechnet:

25

$$S1 = FQ \cdot f(ZI) - FI \cdot f(ZQ)$$

$$S2 = \pm 2 \cdot FQ \cdot f(ZI)$$

$$S3 = \pm 2 \cdot FI \cdot f(ZQ)$$

$$S4 = \pm 2 \cdot ZI \cdot ZQ$$

$$S5 = 0,$$

30

wobei ZI und ZQ die Inphasen- und die Quadraturphasen-Signalkomponente des Empfangssignalzustands sind und FI und FQ die Ablagen von ZI und ZQ gegenüber der Inphasen- und Quadraturphasen-Komponente des entschiedenen QAM-Signalzustandes sind,

35

- und daß der Phasenfehlerdetektor (PFD) eine solche Zuordnung zwischen den Entscheidergebieten und den einzelnen

Berechnungsmethoden (S1 bis S5) trifft, daß seine statische Phasenkennlinie außer beim Einrastpunkt, in dem die Phasenablage zwischen dem Referenzträger des Empfängers und dem Empfangssignalträger 0 ist, keine weitere Nullstelle aufweist.

2. Phasenfehlerdetektor nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß für die Berechnungsmethoden (S1 bis S3) gilt: $f(ZI) = ZI$ und $f(ZQ) = ZQ$.

3. Phasenfehlerdetektor nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß für die Berechnungsmethoden S1 bis S5 gilt: $f(ZI) = \text{sign}(ZI)$ und $f(ZQ) = \text{sign}(ZQ)$.

1/3

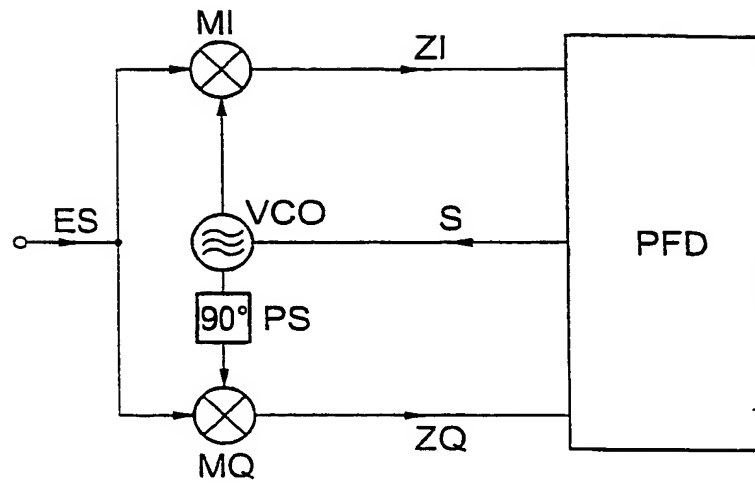


FIG. 1

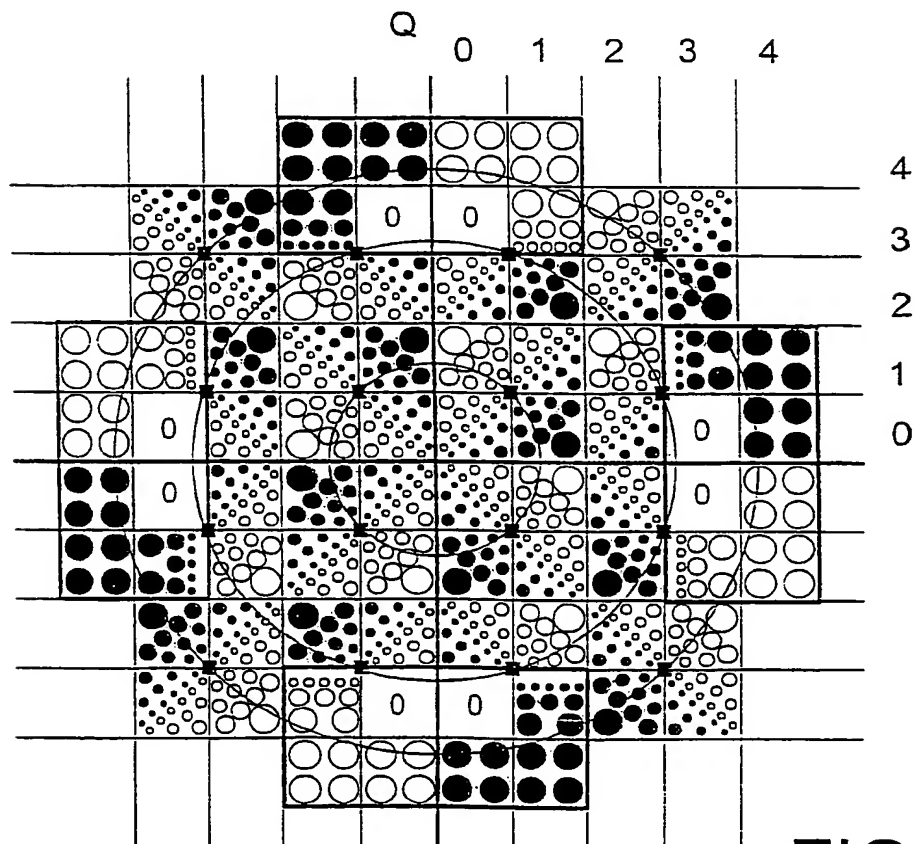
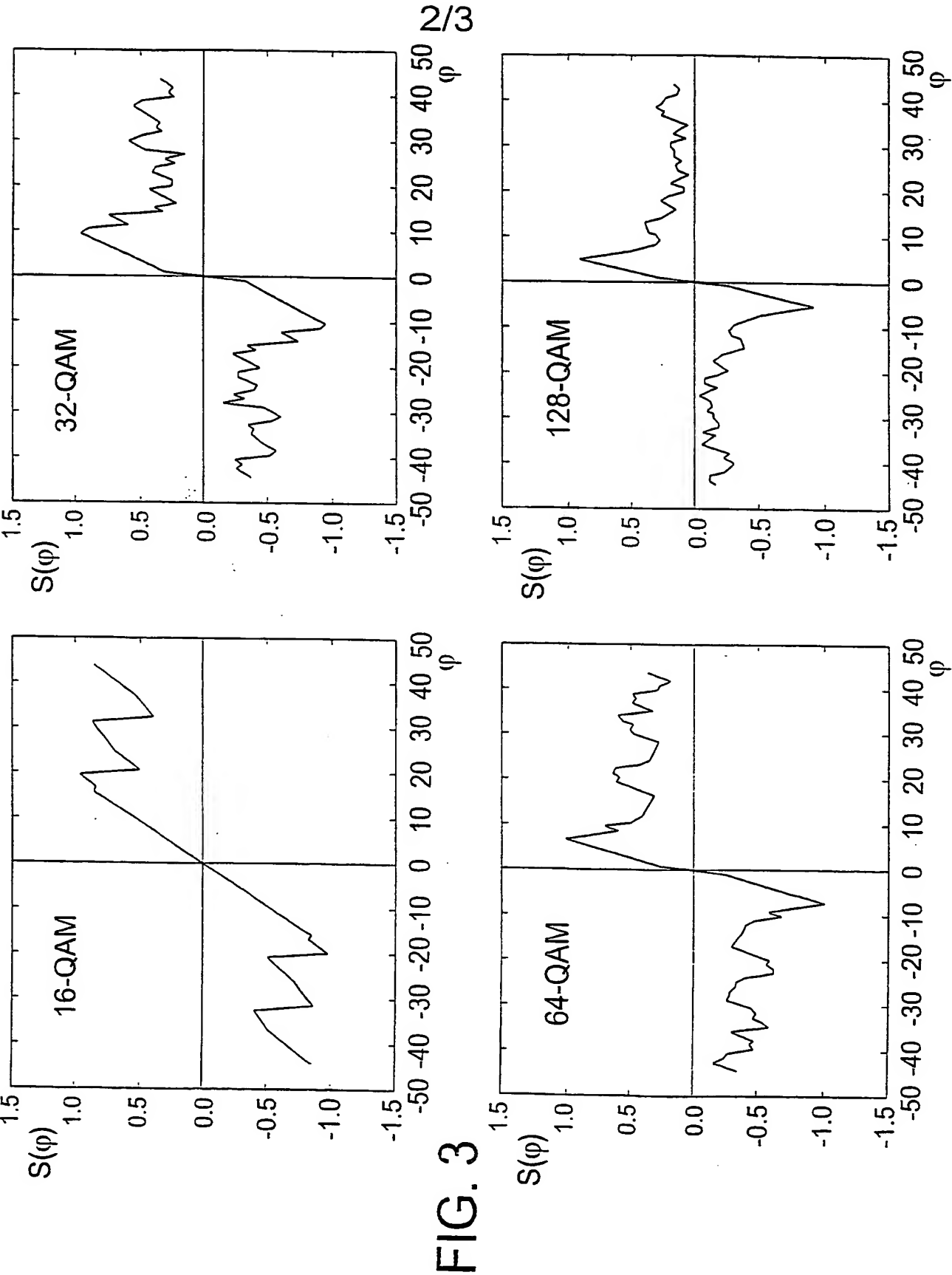
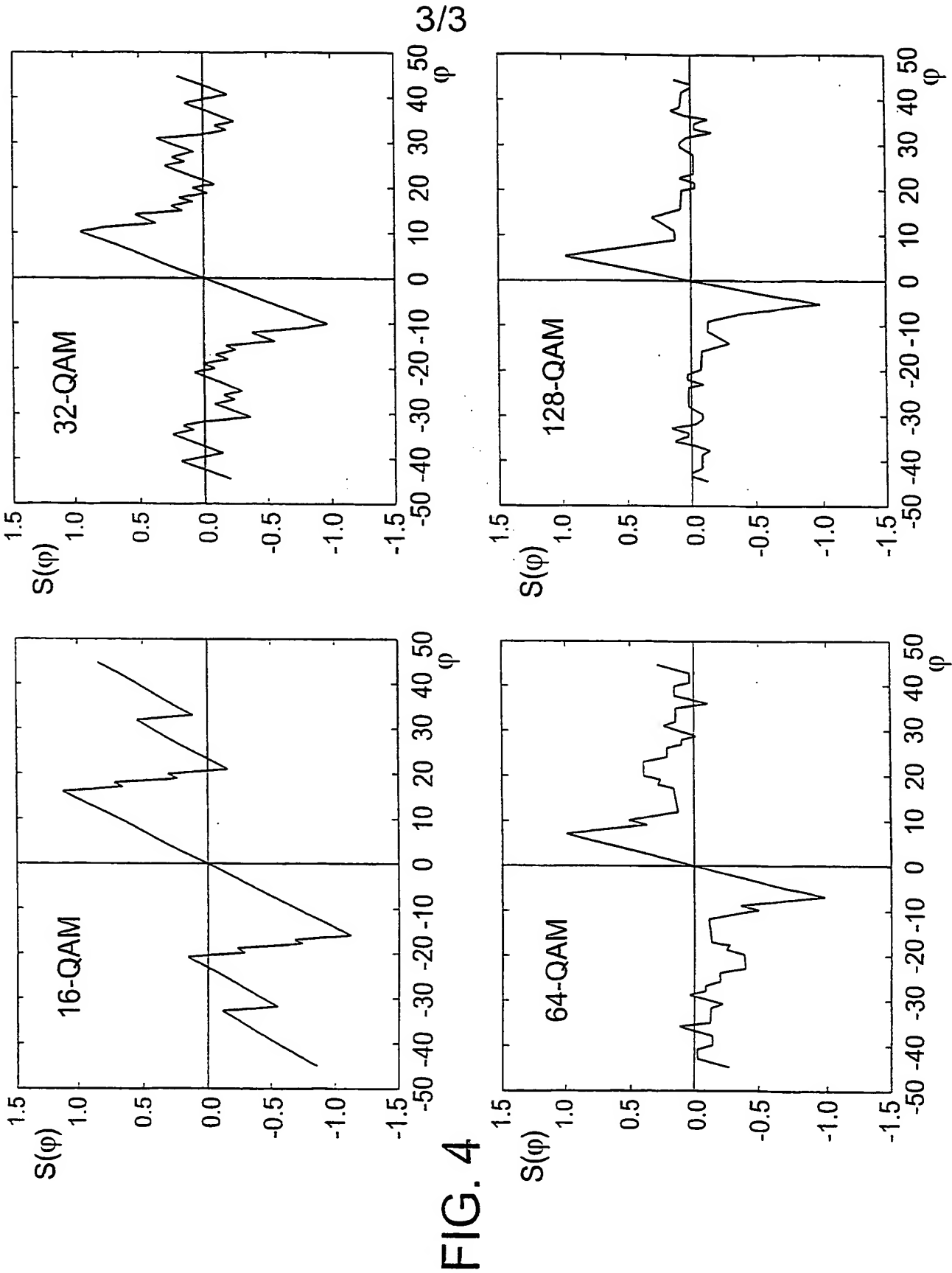


FIG. 2

THIS PAGE BLANK (USPTO)



THIS PAGE BLANK (USPTO)



THIS PAGE BLANK (USPTO)

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

Ir. International Application No

PCT/IB 00/00809

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER

IPC 7 H04L27/38

According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC

B. FIELDS SEARCHED

Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols)

IPC 7 H04L

Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched

Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practical, search terms used)

WPI Data, EPO-Internal, PAJ, COMPENDEX, INSPEC

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category *	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
A	US 4 811 363 A (HOFFMANN MICHAEL) 7 March 1989 (1989-03-07) cited in the application page 15, column 10, line 51 - line 55 page 16, column 11, line 3 - line 25 ---	1-3
A	HOFFMANN M H W: "A NEW CARRIER REGENERATION SCHEME FOR QAM SIGNALS" PROCEEDINGS OF THE INTERNATIONAL SYMPOSIUM ON CIRCUITS AND SYSTEMS, 7 June 1988 (1988-06-07), pages 599-602, XP000013938 US, NEW YORK, YK ISBN: 951-721-239-9 page 600, column 1, line 16 - line 24 page 601, column 2, line 3 - line 28 figure 1 --- -/--	1-3

☒ Further documents are listed in the continuation of box C.

☒ Patent family members are listed in annex.

* Special categories of cited documents :

"A" document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance

"E" earlier document but published on or after the international filing date

"L" document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified)

"O" document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means

"P" document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed

"T" later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention

"X" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone

"Y" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art.

"&" document member of the same patent family

Date of the actual completion of the international search

19 October 2000

Date of mailing of the international search report

26/10/2000

Name and mailing address of the ISA

European Patent Office, P.B. 5818 Patentlaan 2
NL - 2280 HV Rijswijk
Tel. (+31-70) 340-2040, Tx. 31 651 epo nl,
Fax: (+31-70) 340-3016

Authorized officer

Moreno, M

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International Application No

PCT/IB 00/00809

C.(Continuation) DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category *	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
A	<p>EP 0 571 788 A (ANT NACHRICHTENTECH) 1 December 1993 (1993-12-01) page 3, line 51 - line 52 page 5, line 3 - line 13 figures 1,3</p> <p>-----</p>	1-3

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

In Application No

PCT/IB 00/00809

Patent document cited in search report		Publication date		Patent family member(s)		Publication date
US 4811363	A	07-03-1989	DE	3619744 A		17-12-1987
			CA	1268222 A		24-04-1990
			DE	3766419 D		10-01-1991
			EP	0249045 A		16-12-1987
			US	4860320 A		22-08-1989
<hr/>						
EP 0571788	A	01-12-1993	DE	4216156 C		19-08-1993
<hr/>						

THIS PAGE BLANK (0870)

INTERNATIONALER RECHERCHENBERICHT

In. nationales Aktenzeichen

PCT/IB 00/00809

A. KLASSIFIZIERUNG DES ANMELDUNGSGEGENSTANDES

IPK 7 H04L27/38

Nach der Internationalen Patentklassifikation (IPK) oder nach der nationalen Klassifikation und der IPK

B. RECHERCHIERTE GEBIETE

Recherchierter Mindestprüfstoff (Klassifikationssystem und Klassifikationssymbole)

IPK 7 H04L

Recherchierte aber nicht zum Mindestprüfstoff gehörende Veröffentlichungen, soweit diese unter die recherchierten Gebiete fallen

Während der internationalen Recherche konsultierte elektronische Datenbank (Name der Datenbank und evtl. verwendete Suchbegriffe)

WPI Data, EPO-Internal, PAJ, COMPENDEX, INSPEC

C. ALS WESENTLICH ANGESEHENE UNTERLAGEN

Kategorie*	Bezeichnung der Veröffentlichung, soweit erforderlich unter Angabe der in Betracht kommenden Teile	Betr. Anspruch Nr.
A	US 4 811 363 A (HOFFMANN MICHAEL) 7. März 1989 (1989-03-07) in der Anmeldung erwähnt Seite 15, Spalte 10, Zeile 51 - Zeile 55 Seite 16, Spalte 11, Zeile 3 - Zeile 25	1-3
A	HOFFMANN M H W: "A NEW CARRIER REGENERATION SCHEME FOR QAM SIGNALS" PROCEEDINGS OF THE INTERNATIONAL SYMPOSIUM ON CIRCUITS AND SYSTEMS, 7. Juni 1988 (1988-06-07), Seiten 599-602, XP000013938 US, NEW YORK, YK ISBN: 951-721-239-9 Seite 600, Spalte 1, Zeile 16 - Zeile 24 Seite 601, Spalte 2, Zeile 3 - Zeile 28 Abbildung 1	1-3

☒ Weitere Veröffentlichungen sind der Fortsetzung von Feld C zu entnehmen

☒ Siehe Anhang Patentfamilie

* Besondere Kategorien von angegebenen Veröffentlichungen :

"A" Veröffentlichung, die den allgemeinen Stand der Technik definiert, aber nicht als besonders bedeutsam anzusehen ist

"E" älteres Dokument, das jedoch erst am oder nach dem internationalen Anmeldedatum veröffentlicht worden ist

"L" Veröffentlichung, die geeignet ist, einen Prioritätsanspruch zweifelhaft erscheinen zu lassen, oder durch die das Veröffentlichungsdatum einer anderen im Recherchenbericht genannten Veröffentlichung belegt werden soll oder die aus einem anderen besonderen Grund angegeben ist (wie ausgeführt)

"O" Veröffentlichung, die sich auf eine mündliche Offenbarung, eine Benutzung, eine Ausstellung oder andere Maßnahmen bezieht

"P" Veröffentlichung, die vor dem internationalen Anmeldedatum, aber nach dem beanspruchten Prioritätsdatum veröffentlicht worden ist

"T" Spätere Veröffentlichung, die nach dem internationalen Anmeldedatum oder dem Prioritätsdatum veröffentlicht worden ist und mit der Anmeldung nicht kollidiert, sondern nur zum Verständnis des der Erfindung zugrundeliegenden Prinzips oder der ihr zugrundeliegenden Theorie angegeben ist

"X" Veröffentlichung von besonderer Bedeutung; die beanspruchte Erfindung kann allein aufgrund dieser Veröffentlichung nicht als neu oder auf erfinderscher Tätigkeit beruhend betrachtet werden

"Y" Veröffentlichung von besonderer Bedeutung; die beanspruchte Erfindung kann nicht als auf erfinderscher Tätigkeit beruhend betrachtet werden, wenn die Veröffentlichung mit einer oder mehreren anderen Veröffentlichungen dieser Kategorie in Verbindung gebracht wird und diese Verbindung für einen Fachmann naheliegend ist

"&" Veröffentlichung, die Mitglied derselben Patentfamilie ist

Datum des Abschlusses der internationalen Recherche

19. Oktober 2000

Absendedatum des internationalen Recherchenberichts

26/10/2000

Name und Postanschrift der Internationalen Recherchenbehörde

Europäisches Patentamt, P.B. 5818 Patentaan 2
NL - 2280 HV Rijswijk
Tel. (+31-70) 340-2040, Tx. 31 651 epo nl,
Fax: (+31-70) 340-3016

Bevollmächtigter Bediensteter

Moreno, M

C.(Fortsetzung) ALS WESENTLICH ANGESEHENE UNTERLAGEN

Kategorie*	Bezeichnung der Veröffentlichung, soweit erforderlich unter Angabe der in Betracht kommenden Teile	Betr. Anspruch Nr.
A	EP 0 571 788 A (ANT NACHRICHTENTECH) 1. Dezember 1993 (1993-12-01) Seite 3, Zeile 51 - Zeile 52 Seite 5, Zeile 3 - Zeile 13 Abbildungen 1,3 -----	1-3

INTERNATIONALER RECHERCHENBERICHT

In des Aktenzeichen

PCT/IB 00/00809

Im Recherchenbericht angeführtes Patentdokument		Datum der Veröffentlichung	Mitglied(er) der Patentfamilie		Datum der Veröffentlichung
US 4811363	A	07-03-1989	DE	3619744 A	17-12-1987
			CA	1268222 A	24-04-1990
			DE	3766419 D	10-01-1991
			EP	0249045 A	16-12-1987
			US	4860320 A	22-08-1989
<hr/>					
EP 0571788	A	01-12-1993	DE	4216156 C	19-08-1993
<hr/>					

THIS PAGE BLANK (USPTO)